



MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

B-dul. București nr. 39, 100680, Ploiești, România, www.upg-ploiesti.ro

Telefon +40 244 573 171

Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT REZUMAT

OPTIMIZAREA POMPAJULUI IN PRĂJINI

Autor: Ing. LAURA - ANDREA SFÎRIAC

Conducător științific: Prof. Univ. Dr. Ing. Habil. MARIA STOICESCU

Ploiești 2024

INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE DOCTORAT
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT REZUMAT

OPTIMIZAREA POMPAJULUI IN PRĂJINI

OPTIMIZATION OF ROD PUMPING SYSTEMS

Autor: Ing. LAURA - ANDREA SFÎRIAC

Conducător științific: Prof. Univ. Dr. Ing. Habil. MARIA STOICESCU

Nr. Decizie 577 din 23.07.2024

Comisia de doctorat:

Președinte	Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. Timur-Vasile CHIȘ	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Conducător științific	Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. Maria STOICESCU	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Referent oficial	Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. Oana Roxana CHIVU	de la	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICĂ din București
Referent oficial	Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. Florian Dan NIȚOIU	de la	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICĂ din București
Referent oficial	Conf. Univ. Dr. Ing. Cristian Nicolae EPARU	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

Ploiești 2024

CUPRINS

CUPRINS	2
INTRODUCERE	1
CAPITOLUL I	3
PRINCIPII DE BAZĂ ALE EXPLOATĂRII SONDELOR PRIN POMPAJ DE ADÂNCIME ...	3
1.1. Instalația de extracție a țițeiului prin pompare cu prăjini	3
1.1.1. Unitatea de pompare (U.P.)	3
1.1.2. Capetele de pompare ale unității de extracție	8
1.1.3. Prăjini de pompare	10
1.1.4. Țevile de extracție	12
1.1.5. Pompe de extracție	14
1.2. Parametrii regimului de funcționare al sondelor petroliere aflate în pompaj	17
1.2.1. Cursa reală a pistonului	17
1.2.2. Relații analitice pentru determinarea cursei reale a pistonului	17
1.2.3. Sarcinile din prăjina lustruită	18
1.2.4. Randamentul volumic al pompelor de extracție	20
1.2.5. Dimensionarea garniturii țevelor de extracție	21
1.2.6. Cuplul maxim la reductor	22
CAPITOLUL II	23
UTILIZAREA SISTEMULUI DE POMPARE CU PRĂJINI ÎN EXPLOATAREA SONDELOR	23
2.1. Evaluarea sistemului de pompare cu prăjini: Avantaje și Dezavantaje	23
2.2. Considerații privind viteza de pompare și lungimea cursei	25
2.3. Parametrii adimensionali și utilizarea acestora în sistemul de pompare cu prăjini	26
2.4. Supraveghere și automatizare	39
2.5. Analiza dinamogramei	41
2.5.1. Importanța dinamogramelor de suprafață în analiza performanței sistemelor de pompare cu prăjini	47

2.6. Proiectare: motor, unitate de pompare și garniturii de prăjini.....	65
CAPITOLUL III	67
MODELAREA NUMERICĂ PRIVIND FUNCȚIONAREA SONDELOR ÎN POMPAJ DE ADÂNCIME	67
3.1. Necesitatea proiectării și modelării	67
3.1.1. Importanța modelării și simulării în proiectarea sondelor de pompare.....	67
3.1.2. Tehnologia avansată în modelarea sondelor de pompare.....	68
3.1.3. Rolul modelării.....	68
3.1.4. Contribuții la domeniul tehnologic și practic	69
3.1.5. Dezvoltări și perspective viitoare	70
3.2. Regimurile de frecvențe periculoase și nepericuloase	70
3.2.1. Alegerea pompei și a unității de pompare	71
3.2.2. Optimizarea curselor și a frecvenței de mișcare a pistonului în sistemul de pompare	72
3.2.3. Determinarea lungimii tronsoanelor de prăjini	73
3.2.4. Regimul de eforturi unitare în garnitura de prăjini.....	74
3.2.5. Optimizarea dimensionării și alegerea țevi de extracție.....	74
3.2.6. Eforturile unitare maxime și minime din țevi	75
3.2.7. Determinarea cursei reale a pistonului în calculul analitic.....	75
3.2.8. Îmbunătățirea randamentului volumic în contextul pompei de adâncime	76
3.2.9. Calculul sarcinilor în prăjina lustruită pentru sistemele de pompare	77
3.2.10. Calculul cuplului maxim la reductor	78
3.2.11. Puterea nominală a motorului electric	78
3.2.12. Reglarea echilibrului unității de pompare	78
CAPITOLUL IV.....	79
POSSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A REGIMULUI TEHNOLOGIC DE FUNCȚIONARE A SONDELOR.....	79
4.1. Noțiuni generale	79
4.2. Optimizarea sondelor in pompaj	82

CAPITOLUL V	92
CONTRIBUTII PRIVIND MODELAREA PROCESELOR ASOCIATE SISTEMULUI DE EXTRACȚIE A ȚIȚEIULUI PRIN POMPAJ DE ADÂNCIME	92
5.1. Simularea garniturii de prăjini de pompare cu ajutorul ecuației coardei vibrante	92
5.2. Simularea mișcării prăjinii lustruite	93
5.3. Simularea pompei de fund.....	94
5.4. Ecuații diferențiale pentru obținerea soluții numerice optime	97
CAPITOLUL VI.....	100
CONCLUZII SI PROPUNERII DE CERCETARE VIITOARE.....	100
6.1 Concluzii generale	100
6.2. Contribuții originale	101
6.3. Propuneri de Cercetare Viitoare	102
ANEXA.....	103
BIBLIOGRAFIE	125

REZUMAT

INTRODUCERE

Teza abordează relevanța tehnologiilor de extracție a petrolului, concentrându-se pe sistemele de pompare cu prăjini, esențiale în exploatarea zăcămintelor de petrol din România. Sunt evidențiate provocările asociate cu aceste sisteme, inclusiv uzura echipamentelor, eficiența operațională și nevoia de optimizare. Obiectivele cercetării includ dezvoltarea unor metode de modelare numerică și strategii de optimizare care să îmbunătățească performanța și durabilitatea acestor sisteme.

Valorificarea resurselor de hidrocarburi fluide și extragerea țițeiului și a gazelor naturale din aceste zăcăminte folosind sonde constituie unul dintre domeniile cele mai importante și reprezentative ale industriei petroliere. Prin aplicarea metodelor clasice de extracție, factorul de recuperare a țițeiului dintr-un zăcământ se estimează la aproximativ 30%. Utilizarea tehnologiilor noi poate crește această valoare până la 50-60%.

Metodele artificiale de extracție, utilizând gaze comprimate sau pompe, sunt necesare atunci când energia naturală a zăcămintelor de țiței nu mai este suficientă pentru a ridica fluidele la suprafață. Extracția țițeiului prin pompaj este foarte folosită în România, însă randamentele multor sonde sunt relativ mici fie din cauza epuizării straturilor, fie din cauza echipamentului utilizat. Pompele cu piston funcționează la randamente scăzute sau se blochează în condițiile unui procent mare de impurități și unei rații gaze-țiței ridicate.

Metodologia de proiectare pentru eficientizarea sondei include selectarea vitezelor de pompare, lungimilor curselor și diametrelor pistonului. Dinamogramele de suprafață sunt esențiale pentru analiza performanței unei sonde cu pompare cu prăjini. Acestea sunt grafice ale sarcinii în funcție de poziție pe durata unei curse complete pentru sarcina pe prăjina lustruită suspendată de pe brațul unității de pompare. Interpretarea dinamogramelor pompei este simplificată dacă acestea sunt considerate a reprezenta sarcina pe pistonul pompei în funcție de poziția pistonului. Scopul software-ului de analiză bazat pe ecuația coardei vibrante este să convertească sarcinile și poziția măsurate la prăjina lustruită la sarcina și poziția reală a pistonului pompei pe durata cursei pompei.

În concluzie, lucrarea analizează cele mai bune practici pentru utilizarea POC-urilor, programele de proiectare predictivă, ghidurile de aplicare a prăjinilor, practicile pentru pompele de fund și unitățile de suprafață, tubing, separarea gazului, utilizarea detectoarelor de nivel de fluid, efectele presiunii din carcasa sondei și soluțiile pentru coroziune

CAPITOLUL I

PRINCIPII DE BAZĂ ALE EXPLOATĂRII SONDELOR PRIN POMPAJ DE ADÂNCIME

În acest capitol se detaliază principiile fundamentale ale operării sistemelor de pompare cu prăjini, acoperind componentele principale: unitatea de pompare, prăjinile de extracție și tubulatura. Sunt discutate aspectele teoretice și practice ale funcționării, cum ar fi transmiterea energiei de la suprafață la subteran și mecanismele de ridicare a fluidului. De asemenea, se analizează parametrii operativi critici, cum ar fi cursa pistonului și eficiența volumetrică, care influențează direct performanța sistemului.

Pompajul de adâncime se aplică în stadiul final a exploatării unui zăcământ, atunci când metoda gaz lift nu mai este eficientă din cauza consumului excesiv de gaze și a randamentelor scăzute de producție. În România, această tehnică se aplică la peste 85% din sonde, în Rusia la aproximativ 80%, iar în SUA la circa 70% din sondele aflate în producție.

✚ Instalația de extracție a țițeiului prin pompare cu prăjini

Instalația de pompare (fig.1.1) conține o unitate de pompare, un cap de pompare și conducte aferente de amestec.

De menționat că echipamentul de fund este compus din o pompă de adâncime, un separator de nisip (care are rol și de a separa gazele), o ancoră necesară stabilizării țevelor de extracție. Transportul țițeiului la suprafață se realizează prin prăjini de extracție, care sunt curățate de parafină cu dispozitive speciale.

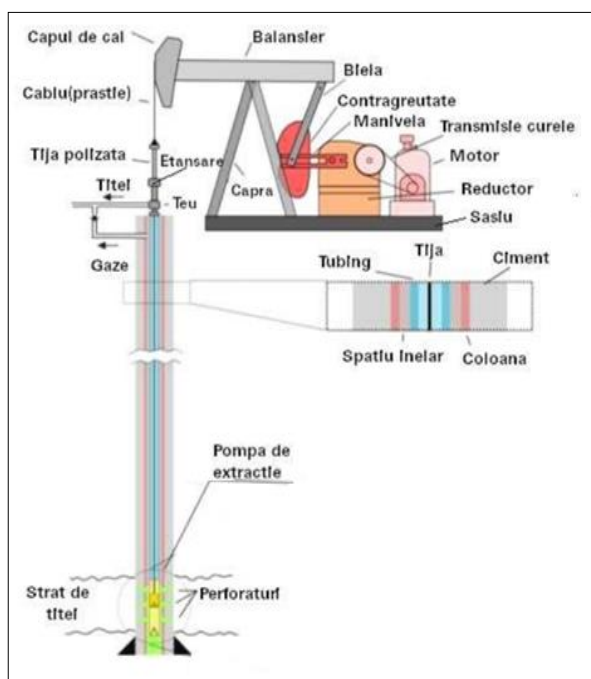


Fig. 1.1. Schema instalației de pompare de adâncime cu prăjini

Unitatea de pompare este utilajul de suprafață cel mai mare și cel mai important. Este alcatuit din balansier, capră de susținere, reductor, biele, manivele, ramă sau sanie și electromotor. O unitate de extracție prin pompare va fi identificată cu o frază de forma **UP 15T-5000-10000M**, unde indicativul UP reprezintă unitate de pompare.

Capetele de pompare ale unității de extracție au rolul de a susține țevile de extracție și a etanșa spațiul inelar dintre țevi și coloană. Pentru a asigura securitatea în muncă la intervențiile necesare pentru creșterea factorului final de recuperare (fisurării, tratamente acide, tratamente cu inhibitori), capetele de pompare facilitează închiderea și deschiderea sondelor pentru a realiza aceste operații.

Prăjini de pompare sunt bare rotunde din oțel laminat de înaltă calitate, terminate cu filet (cep) la ambele capete cu rolul de asigurare a mișcării rectilinii alternative dintre capul de balansier al unității de pompare și pistonul pompei de extracție. Sunt utilizate până la adâncimi de 2500-2800 m (datorită limitărilor tehnologice și deci ale rezistenței maxime de operare), având la capete o mufă.

Țevile de extracție sunt supuse unor eforturi, printre acestea amintind greutatea proprie a acestora, presiunea exercitată de masa lichidului din interiorul țevelor, greutatea lichidului din țevi iar în cazul unei ruperi accidentale a acestora apare și un efort datorat forțelor de inerție.

Prăjinile de pompare transmit mișcarea verticală alternativă de la capul de balansier la pistonul pompei. Pompa, care constituie partea fixă a sistemului, este legată prin înșurubare (pentru pompa TB) de tubing sau printr-un dispozitiv mecanic toplock (pentru pompa P) și este fixată la capătul de jos al țevelor de extracție. În figura 1.8 se pot vedea pompe de extracție conform API STD NAX.

Parametrii regimului de funcționare al sondelor petroliere aflate în pompaj

În timpul coborârii asamblului prăjini-piston în lichid prăjinile sunt încărcate de greutatea proprie, distribuită uniform pe întreaga lungime.

În timpul ridicării prăjinii apar următoarele fenomene:

a. După parcurgerea unei distanțe (când prăjina se întinde elastic conform Legii lui Hooke) pistonul începe să se miște,

b. Coloana de lichid se acumulează cu lungimea lungimea λt .

În vederea selecției adecvate a instalației de pompare și pentru a estima contragreutățile de echilibrare, este esențial să cunoaștem valorile cât mai exacte ale sarcinilor care acționează asupra prăjinii lustruite.

Debitul unei sonde în pompaj, este dat de produsul dintre cursa prăjinii lustruite, a numărului de curse duble pe minut (cd/min) și de secțiunea pistonului. Factori care definesc debitul pompei sunt: alungirea garniturii de prăjini de pompare și a țevelor de extracție, jocul dintre piston și cilindrul pompei și prezența gazelor în țiteiul extras.

Pentru alegerea corectă a țevelor de extracție în instalațiile de pompare, pe lângă calculul rezistenței, trebuie luate în considerare și alte aspecte practice. În mod specific, se menționează că: adâncimea de depunere a parafinei, diametru constant pentru prinderea prăjinilor și deparafinarea mecanică

Cuplul maxim este factorul cel mai important, de care se ține seamă la alegerea reductorului unei unități de pompare și este influențat de sarcina de la capătul balansierului, lungimea cursei prăjinii lustruite și gradul de echilibrare al unității de pompare.

CAPITOLUL II

UTILIZAREA SISTEMULUI DE POMPARE CU PRĂJINI ÎN EXPLOATAREA SONDELOR

Acest capitol explorează aplicarea practică a sistemelor de pompare cu prăjini, abordând avantajele și limitările lor în diferite scenarii operaționale. Se discută optimizarea vitezei și lungimii cursei în funcție de condițiile de zăcământ, și se introduce conceptul de parametri nedimensionali pentru a facilita analiza comparativă a performanței. Capitolul include și o secțiune dedicată analizei dinamogramelor, utilizate pentru diagnosticarea problemelor de funcționare și monitorizarea stării echipamentelor.

Avantaje:

- Rentabilitate pentru sondele de tip stripper cu volum redus.
- Personalul familiarizat și operare eficientă.
- Funcționare eficientă pe diverse rate de producție și adâncimi.
- Durată de viață mare (peste 30 de ani) pentru unitățile de suprafață și cutiile de viteze.
- Piese interschimbabile fabricate conform standardelor API.
- Disponibilitate de prăjini speciale (HS și FG) pentru rezistență crescută.

Dezavantaje:

- Coroziunea și deteriorarea prăjinilor.
- Incompatibilitate cu sondele deviate și limitările în producția fluidelor cu nisip.
- Probleme cu parafina și calcarul.
- Pierderi la cutia de umplere a prăjinii lustruite.
- Necesitatea ajustărilor pentru potrivirea capacității pompei cu potențialul sondei.

Considerații privind viteza de pompare și lungimea cursei

Aspecte principale: Numeroase combinații de lungimi de cursă, curse pe minut, diametre ale pistonului și adâncimi de instalare. Proiectarea echipamentului pentru 90-150% din rata maximă posibilă a sondei. Practici diferite de proiectare în funcție de câmpul specific. Importanța unei pompe complet umplute cu lichid pentru eficiență. Impactul vitezei de pompare, lungimea cursei și dimensiunea pistonului asupra duratei de viață a echipamentului.

Strategii de operare: Utilizarea curselor lungi și vitezelor reduse pentru a reduce uzura. Ajustarea parametrilor în funcție de condițiile sondei și preferințele operaționale. Prevenirea defecțiunilor prin măsuri adecvate, cum ar fi separarea gazelor și tratamentele chimice pentru coroziune.

Parametrii adimensionali și utilizarea acestora în sistemul de pompare cu prăjini

Pe măsură ce industria a continuat să dezvolte și să utilizeze echipamente de producție alternative (unități de pompare neconvenționale și non-API, împreună cu garnitura de prăjini non-oțel), s-au dezvoltat programe proprii pentru a permite o proiectare adecvată. Utilizarea ecuației coardei vibrante și creșterea continuă a puterii computerelor personale au oferit multor ingineri și operatori, precum și personalului companiilor de servicii, capacitatea de a proiecta cu ușurință și rapid garniturii de prăjini și de a efectua studii aprofundate ale parametrilor de operare pentru a determina efectul vitezei de pompare, lungimea cursei și dimensiunea pistonului pompei asupra încărcărilor de proiectare și dimensionarea echipamentelor. Rezultatele minime de proiectare ale garniturii de prăjini (PPRL, MPRL, SVL, TVL, PRHP și PT) ar trebui furnizate de programul de proiectare. Cei doi parametri principali de pompare adimensionali (N/N_o' și F_o/Skr) ar trebui furnizați de programul de proiectare a garniturii de prăjini pentru a determina unde se află condițiile de proiectare în setul de dinamograme.

Utilizarea practică:

- Programe de proiectare computerizate pentru garnitura de prăjini.
- Interpretarea dinamogramelor de suprafață pentru diverse condiții de operare.
- Ajustarea parametrilor pentru a limita riscul defecțiunilor și pentru a optimiza eficiența sistemului.

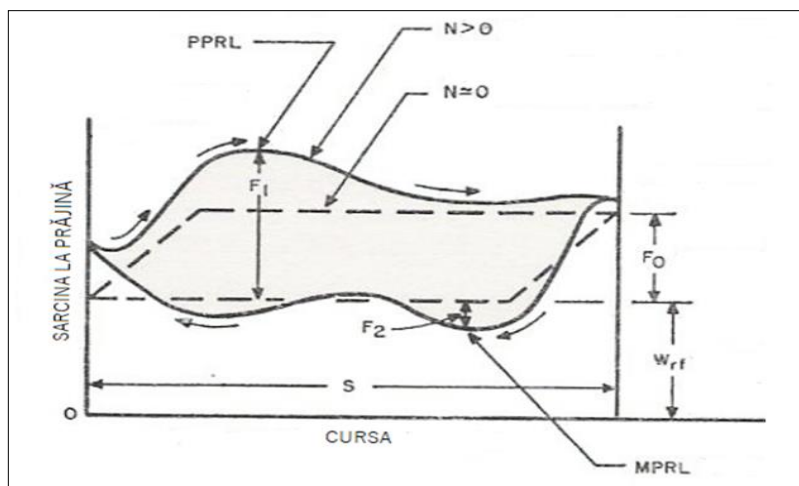


Fig.2.1. Dinamograma de suprafață pentru diferite condiții de funcționare

Unul dintre avantajele cunoașterii și utilizării principalilor parametri adimensionali de viteză N/N_o' și sarcină F_o/Skr este că se poate afișa un „set” de dinamograme analogice tipice care descriu o gamă largă de condiții de operare. Acest set de dinamograme care arată efectul schimbărilor de viteză adimensională variind de la 0.1 la 0.5 și schimbărilor de sarcină adimensională variind de la 0.1 la 0.6.

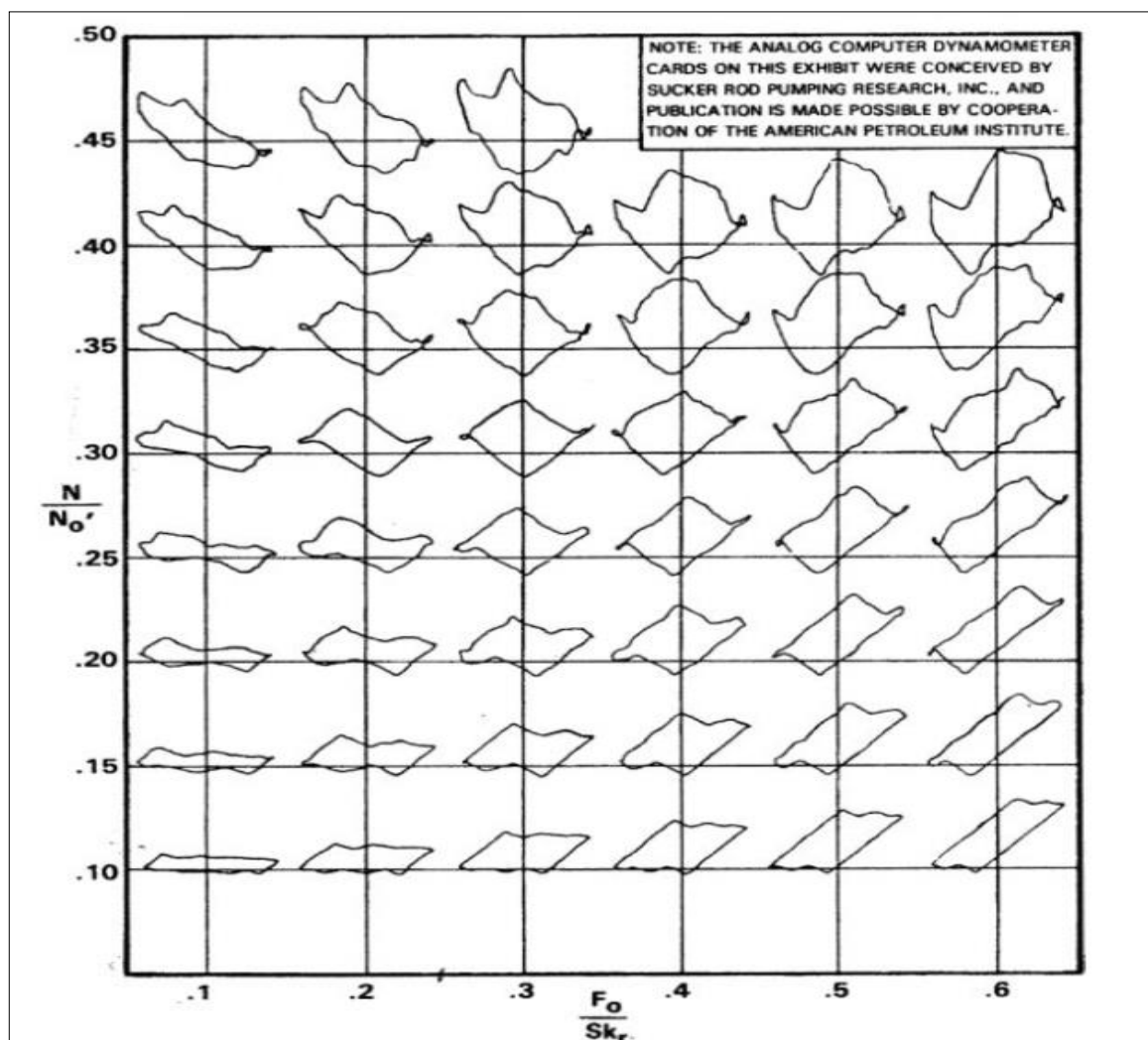


Fig.2.2. Suită de dinamograme analogice de la API Bull 11L2

✚ Supraveghere:

- Sistemele de pompare cu prăjini sunt monitorizate de controlori de oprire a pompei (POC).
- Controlorii monitorizează parametri precum sarcina prăjinii lustruite, poziția prăjinii, curentul electric și presiunile în conducte.
- Un exemplu comun este detectarea umplerii incomplete a pompei și oprirea sistemului pentru un timp prestabilit.

✚ Automatizare:

- POC colectează și transmite date, verifică parametrii și controlează ciclurile de pornire/oprire.
- Celula de sarcină măsoară sarcina, iar indicatorul de poziție măsoară continuu poziția pe parcursul cursei.
- Automatizarea reduce timpul de funcționare și cheltuielile operaționale fără a afecta producția de petrol.



Analiza dinamogramei

Achiziționarea datelor de sarcină și poziția la suprafață pentru sonde ridicate cu prăjini, utilizând un traductor dinamogramei, a fost realizată în domeniul petrolier de mai bine de 50 de ani. Dinamogramele măsurate la suprafață nu permit întotdeauna operatorului să facă diagnostice complete ale sistemului de pompare cu prăjini.

Dinamograma de suprafață este graficul sarcinii pe prăjina lustruită măsurate în funcție de poziție pe parcursul unei curse. Dinamograma pompei este un grafic al sarcinii prevăzute în funcție de pozițiile cursei pistonului pompei și arată sarcina pe care ansamblul supapei de reținere/pistonului o aplică la baza garniturii de prăjini. Identificarea modului în care funcționează pompa și analiza problemelor de la fund sunt principalele utilizări ale graficului dinamogramei de fund calculat.

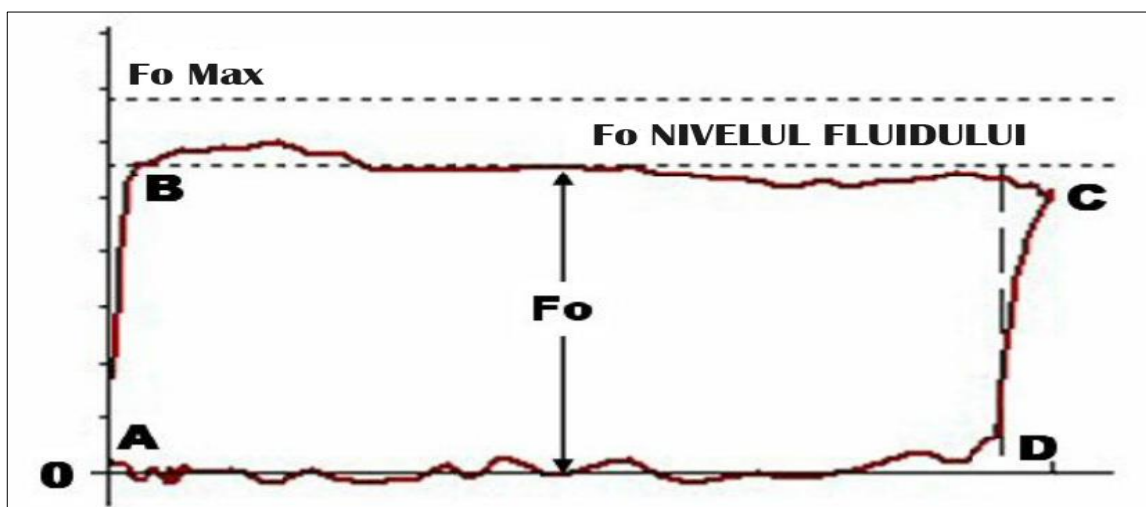


Fig. 2.13. Dinamograma pompei de fund

Problemele pot fi analizate prin utilizarea formelor dinamogramelor pompei. Aceste probleme variază de la umplerea incompletă a pompei, cauzată de pomparea excesivă sau umplerea incompletă a pompei cauzată de intrarea gazului în pompă din cauza unei separări insuficiente a gazului la admisia pompei.

Dinamogramele de suprafață sunt esențiale pentru analiza performanței unei sonde echipate cu sistem de pompare cu prăjini. Aceste dinamograme reprezintă graficele sarcinii în funcție de poziție pe durata unei curse complete pentru sarcina pe prăjina lustruită suspendată de pe brațul unității de pompare. Analiza dinamogramelor de suprafață indică încărcarea pe braț, permite calcularea tensiunilor axiale în prăjini aproape de suprafață și evaluarea eficienței unității de pompare de suprafață prin compararea puterii dinamogramelor de suprafață cu puterea de intrare a motorului unității de pompare. De asemenea, aceasta permite analiza cuplului cutiei de viteze atunci când efectul de contrabalansare este cunoscut.

O analiză a dinamogramelor pompei permite operatorului să determine încărcările pe pistonul pompei și, astfel, să evalueze performanța pompei pe durata cursei sale. Performanța pompei poate fi

analizată pentru a determina umplerea completă sau parțială a pompei, pierderile supapei mobile și ale pistonului, pierderile supapei fixe, blocarea pistonului, interferența gazului, presiunea de admisie a pompei și alte condiții neregulate ale pompei.

Interpretarea dinamogramelor pompei este simplificată pentru operator dacă acestea sunt considerate a reprezenta sarcina pe pistonul pompei în funcție de poziția pistonului. Cu alte cuvinte, dinamogramele ar trebui să reprezinte sarcinile și poziția pistonului pompei ca și cum măsurarea ar fi fost făcută prin plasarea celulei de sarcină și a indicatorului de poziție (accelerometru sau string box) imediat deasupra pistonului pompei, în loc de la suprafață, cu sarcinile de fund calculate pentru prăjinile de tracțiune, prăjinile supapei sau prăjinile de scufundare.

Dinamogramele de suprafață și de pompă:

- Sunt utilizate pentru a diagnostica problemele de suprafață și de la fundul sondei.
- Dinamogramele de suprafață sunt utile pentru identificarea problemelor de suprafață, iar cele de pompă pentru problemele de la fundul sondei.
- Suprasolicitarea și subsolicitarea sunt identificate prin analizarea acestor dinamograme.

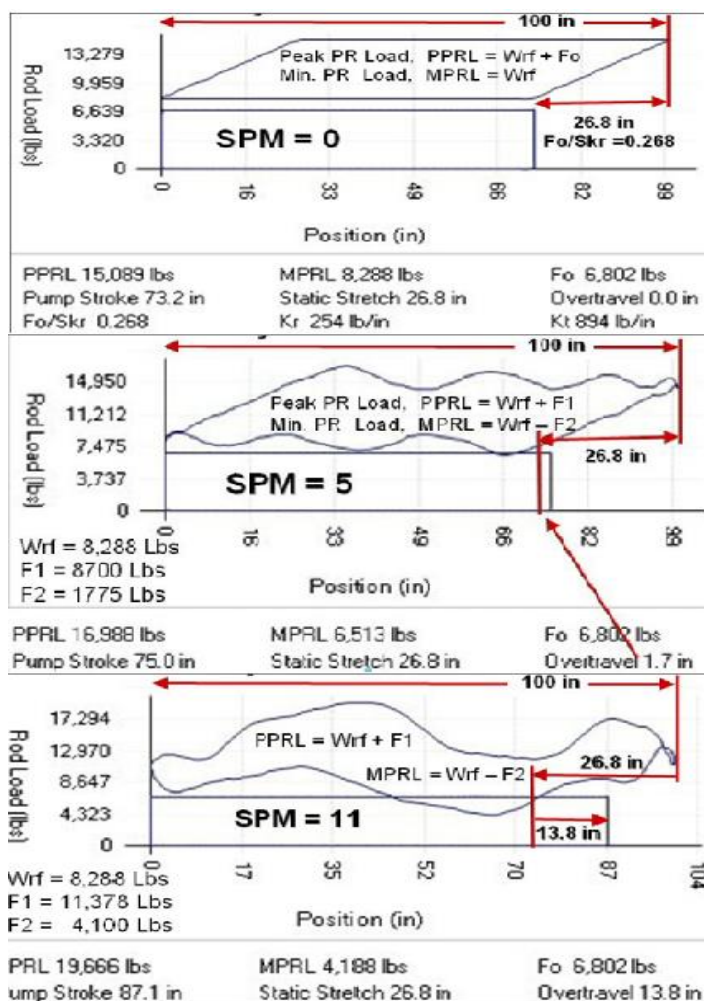


Fig. 2.6. La viteze de pompare de 0 SPM , 5 SPM și 11 SPM ,dinamogramele indică variabilitatea sarcinilor și efectele suprasolicitări

Dinamograma de suprafață este un grafic al sarcinii măsurate pe prăjina lustruită la diverse poziții pe durata unei curse complete. Dinamograma pompei este un grafic al sarcinilor calculate pe pistonul pompei la diverse poziții pe durata cursei sale. Aceasta reprezintă sarcina pistonului care este aplicată prăjinii supapei pompei sau fundului garniturii de prăjinide extracție.

Dinamograma pompei arată că porțiunea de cursă descendentă a cardului pistonului este aproape de zero. Aceasta indică faptul că datele de sarcină și poziție de suprafață, precum și datele despre sondă, sunt rezonabil precise. Sarcina pe cursa descendentă fiind aproape de zero indică, de asemenea, că frecarea excesivă în cutia de etansare, frecarea prăjinilor de extracție sau alte probleme de frecare subterane nu sunt prezente.

Graficul inferior este dinamograma pistonului pompei calculată cu valoarea FoMax afișată pe grafic. Operatorul poate observa simplu graficul și determina că pompa este parțial umplută cu lichid și că presiunea de admisie a pompei (presiunea de la fundul sondei) este scăzută, deoarece sarcina pistonului Fo pe cursa ascendentă este ușor sub FoMax.

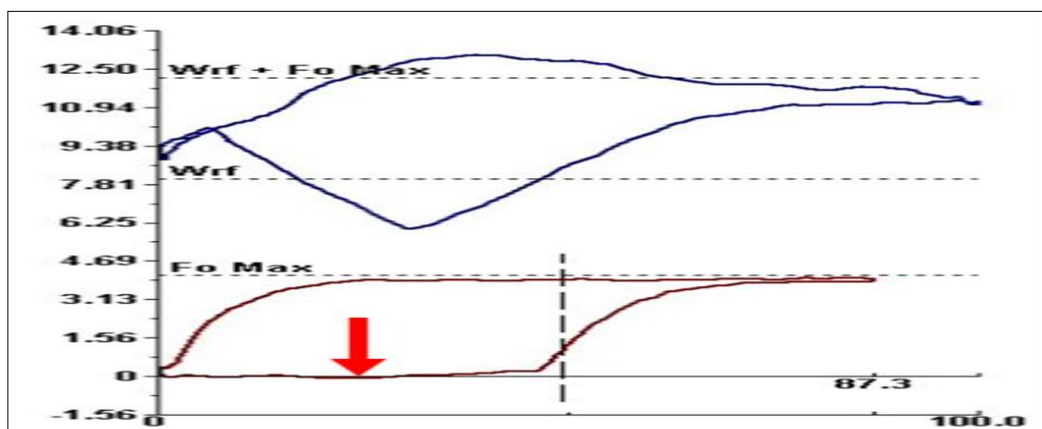


Fig. 2.20. Dinamogramă de suprafață și un dinamogramă de sarcină pe pistonul pompei

Evaluarea performanței și prevenirea defecțiunilor

Programele de proiectare computerizate sunt esențiale pentru evaluarea performanței garniturii de prăjini. Parametrii adimensionali (N/No' și Fo/Skr) sunt folosiți pentru a determina condițiile de proiectare și a optimiza performanța.

Operatorii trebuie să monitorizeze și să ajusteze parametrii pentru a evita suprasolicitarea și subsolicitarea. O atenție sporită trebuie acordată diagnosticării problemelor și reproiectării echipamentelor pentru a minimiza frecvența defecțiunilor.

CAPITOLUL III

MODELAREA NUMERICĂ A SISTEMELOR DE POMPARE CU PRĂJINI

Capitolul descrie în detaliu utilizarea modelelor numerice pentru a simula și optimiza funcționarea sistemelor de pompare cu prăjini. Se prezintă formule matematice și algoritmi de simulare care modelează comportamentul dinamic al sistemului sub diferite condiții de operare. Este discutată relevanța modelării numerice pentru identificarea și prevenirea fenomenelor negative, cum ar fi vibrațiile excesive și uzura componentelor. Capitolul subliniază importanța parametrilor de intrare, precum caracteristicile fluidelor și specificațiile tehnice ale echipamentului, și modul în care acestea influențează rezultatele simulării. De asemenea, se explorează metode de validare a modelului, inclusiv compararea cu date experimentale și utilizarea simulărilor pentru scenarii de testare.

Necesitatea proiectării și modelării

Proiectarea și modelarea sondelor de pompare de adâncime sunt fundamentale pentru a garanta eficiența și durabilitatea operațiunilor de extracție a țițeiului. Aceste procese sunt fundamentale pentru optimizarea parametrilor operaționali, reducerea costurilor și prevenirea problemelor mecanice care ar putea duce la întreruperi costisitoare.

Importanța modelării și simulării în proiectarea sondelor de pompare

Analiza și optimizarea performanței: Modelarea numerică permite evaluarea detaliată a comportamentului sondelor sub diverse condiții de operare. Prin simulări computerizate, inginerii pot testa și compara multiple scenarii, identificând configurațiile care maximizează producția și minimizează uzura echipamentelor.

Reducerea costurilor operaționale: Optimizarea parametrilor de funcționare nu doar că sporește eficiența operațională, dar contribuie și la reducerea costurilor. Prin ajustarea precisă a vitezei de pompare, lungimii cursei și diametrului pistonului, se poate reduce consumul de energie și se poate prelungi durata de viață a echipamentelor.

Prevenirea și gestionarea problemelor: Simulările computerizate permit identificarea și anticiparea problemelor potențiale înainte ca acestea să apară în realitate. Prin testarea diferitelor scenarii operaționale, inginerii pot detecta punctele slabe ale sistemului și pot implementa măsuri preventive pentru a evita defecțiunile majore.

Tehnologia avansată în modelarea sondelor de pompare

Tehnologia actuală a dinamogramelor și a software-urilor de simulare a evoluat semnificativ, oferind inginerilor instrumente precise pentru măsurarea și analizarea datelor de sarcină și poziție. Prin utilizarea acestor tehnologii, se poate modela cu acuratețe comportamentul sondelor și se pot prevedea sarcinile de-a lungul întregului garnitura de prăjini până la pompă.

Rolul modelării

Modelarea numerică și simulările computerizate sunt instrumente esențiale în proiectarea și optimizarea sondelor de pompare de adâncime. Aceste tehnologii avansate permit inginerilor să îmbunătățească eficiența și durabilitatea operațiunilor de extracție a hidrocarburilor, oferindu-le o înțelegere aprofundată a comportamentului sistemului sub diferite condiții. Rolul acestor instrumente este de analizarea comportării sistemului, de a ajusta parametrii de funcționare, de îmbunătățirea eficienței și durabilității, de simularea diferitelor scenarii pentru prevenirea eventualelor probleme.

Contribuții la domeniul tehnologic și practic

- Prin integrarea modelării avansate și a tehnicilor de proiectare optimizată, industria petrolieră poate beneficia de o serie de avantaje semnificative:
 - Utilizarea modelării numerice și a simulărilor computerizate permite inginerilor să dezvolte tehnologii noi și mai eficiente pentru pomparea de adâncime.
 - Prin integrarea celor mai recente descoperiri în domeniul ingineriei și al științei materialelor, industria poate adopta soluții tehnologice de vârf care să îmbunătățească semnificativ procesul de extracție.
 - Modelarea avansată și simulările permit identificarea problemelor potențiale înainte ca acestea să apară în operațiunile reale. Prin abordarea preventivă și implementarea de soluții tehnice avansate, se poate reduce semnificativ timpul de nefuncționare al sondelor, asigurând astfel o operare continuă și eficientă.
 - Prin utilizarea tehnologiilor avansate de diagnosticare și monitorizare, inginerii pot planifica și executa întreținerea uzurii componentelor înainte de a provoca defecțiuni majore și implementarea unui program de întreținere predictivă, care reduce costurile și previne întreruperile neașteptate.

Protecția Mediului:

Sistemele de pompare mai eficiente și mai sigure, dezvoltate prin modelare avansată, contribuie la reducerea pierderilor accidentale și a deșeurilor produse în timpul procesului de extracție. Prin optimizarea operațiunilor de pompare și utilizarea echipamentelor cu emisii reduse, industria petrolieră poate diminua impactul negativ asupra mediului.

Dezvoltări și perspective viitoare

Pe măsură ce tehnologia continuă să avanseze, se preconizează că integrarea modelării numerice și a simulărilor computerizate va juca un rol din ce în ce mai important în industria petrolieră. Viitorul promite inovații care vor transforma modul în care sunt proiectate și operate sondele de pompare, aducând beneficii substanțiale atât din punct de vedere economic, cât și ecologic.

De asemenea, colaborarea dintre cercetători, ingineri și companiile tehnologice va fi esențială pentru dezvoltarea de soluții sustenabile și eficiente. Investițiile în cercetare și dezvoltare vor stimula descoperirea de noi tehnologii și metode care vor continua să îmbunătățească performanțele operaționale și să protejeze mediul.

Tehnologia continuă să avanseze, iar modelarea numerică va juca un rol tot mai important în industria petrolieră. Se menționează următoarele calcule utilizate în procesele de optimizare și monitorizare a sondelor de pompare:

Regimurile de Frecvențe Periculoase și Nepericuloase

Numărul optim de curse este stabilit conform anumitor relații matematice, ținând cont de frecvențele periculoase și nepericuloase, raportul frecvențelor oscilațiilor și adâncimea de fixare a pompei.

- **Alegerea pompei și a unității de pompare:**

Selecția pompei și a unității de pompare se bazează pe tipul de sondă, cerințele de debit și presiune, randamentul și fiabilitatea, costurile și condițiile de mediu.

- **Optimizarea curselor și a frecvenței de mișcare a pistonului în sistemul de pompare**

Calculul cursei reale a pistonului ține cont de aria pistonului pompei și randamentul instalației. Condițiile variază în funcție de adâncimea de fixare a pompei și debitul de lichid al sondei.

- **Determinarea lungimii tronsoanelor de prăjini**

Calculul implică identificarea punctelor de pe prăjină unde efortul unitar admisibil este egal cu efortul unitar maxim, corectând lungimea tronsoanelor în funcție de deformațiile elastice.

- **Regimul de eforturi unitate în garnitura de prăjini**

Determinarea regimului de eforturi unitare necesită utilizarea unor formule specifice pentru a asigura optimizarea funcționării garniturii de prăjini.

- **Optimizarea dimensionării și alegerea țevelor de extracție**

Selectarea țevelor de extracție implică criterii de rezistență mecanică și analiza adâncimii la care se depune parafina în interiorul sondelor. Compatibilitatea diametrului prăjinilor și țevelor este crucială pentru optimizarea întreținerii și extracției eficiente.

- **Eforturile unitare maxime și minime din țevi:**

Calculul eforturilor maxime și minime în țevi

- **Calculul cuplului maxim la reductor:**

Determinarea cuplului maxim la reductor cu formule specifice

- **Puterea nominală a motorului electric:**

Formula pentru calculul puterii nominale a motorului electric

- **Reglarea echilibrului unității de pompare:**

Utilizarea contragreutăților pentru compensarea forțelor generate de mișcarea pistonului și a lichidului.

CAPITOLUL IV

POSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE A REGIMULUI TEHNOLOGIC DE FUNCȚIONARE A SONDELOR

Capitolul explorează diverse strategii pentru optimizarea regimurilor tehnologice ale sondelor, cu scopul de a maximiza eficiența energetică și economică a sistemelor de pompare. Sunt analizate tehnici de ajustare a lungimii cursei și a vitezei de pompare în funcție de variabilele operaționale și de condițiile de zăcământ. Capitolul se concentrează și pe implementarea tehnologiilor de monitorizare în timp real, care permit ajustări dinamice ale parametrilor de operare pentru a răspunde la schimbările în condițiile de zăcământ.

Noțiuni generale

Monitorizarea continuă a parametrilor operaționali:

- Utilizarea senzorilor și a sistemelor de monitorizare în timp real pentru a colecta date precise despre presiune, temperatură, nivelul fluidelor și viteza de pompare."
- Analizarea acestor date pentru a identifica variațiile și a ajusta parametrii de funcționare în consecință.

Implementarea programelor de întreținere predictivă:

- Utilizarea tehnologiilor avansate de diagnosticare pentru a prevedea defecțiunile și a planifica intervențiile de întreținere înainte ca problemele majore să apară."
- Întreținerea regulată și corectă a echipamentelor de pompare a prăjinilor și a tubulaturii pentru a preveni uzura și deteriorarea prematură.

Optimizarea vitezei de pompare și a lungimii curse:

- Ajustarea vitezei de pompare și a lungimii cursei pentru a se potrivi cu condițiile specifice ale zăcământului și pentru a evita pomparea excesivă sau insuficientă."
- Utilizarea programelor de simulare pentru a determina configurația optimă a parametrilor de pompare.

Separarea eficientă a gazului și fluidului:

- Instalarea separatoarelor de gaz la fundul sondei pentru a preveni intrarea gazului liber în pompă și a asigura umplerea completă cu lichid.
- Ajustarea poziției admisiei pompei pentru a minimiza interferența gazului și a maximiza eficiența pompei.

Utilizarea echipamentelor de înaltă performanță:

- Alegerea prăjinilor și a pompelor fabricate din materiale rezistente la coroziune și uzură.

- Implementarea tehnologiilor avansate cum ar fi pompele elicoidale sau prăjinile din fibră de sticlă care oferă performanțe superioare în condiții dificile.

Adaptarea la condițiile sondelor deviate:

- Utilizarea protectoarelor de prăjini și a rotatorilor pentru a reduce uzura și a asigura o funcționare fără probleme în sondele deviate.
- Monitorizarea atentă a performanței pompelor în sondele cu devieri mari și ajustarea parametrilor de operare în consecință.

Gestionarea eficientă a problemelor cauzate de parafină și calcar:

- Aplicarea tratamentelor periodice cu apă sau ulei fierbinte pentru a preveni acumularea de parafină.
- Utilizarea aditivilor chimici pentru a controla formarea calcarului și a menține fluxul neîntrerupt al fluidelor.

Pentru a susține aceste măsuri de optimizare, au fost preluate date de șantier, prezentând datele de producție a unei sonde. Aceste informații permit o analiză detaliată a performanței sondelor și identificarea celor mai eficiente soluții de optimizare. Pentru analiză s-a realizat calculul cursei reale a pistonului, factorii dinamici la cursa ascendentă și descendentă, sarcina maximă și minimă din prăjina lustruită și calculul randamentului volumetric.

În urma efectuării analizei datelor de producție ale sondei propuse, s-a calculat randamentul acestei sonde, care a fost de 48%. Prin urmare, această sondă va fi supusă unei reproiectări. În acest sens, va fi dimensionată o garnitură de prăjini de pompare diferită față de cea existentă, iar noii parametri de lucru vor fi calculați. Ca rezultat al acestei operații de reproiectare, se preconizează că debitul sondei va crește în comparație cu debitul actual.

Optimizarea sondelor în pompaj

Optimizarea sondelor în pompaj este esențială pentru îmbunătățirea performanței și eficienței acestora. Procesul de optimizare include evaluarea și ajustarea diverselor parametri operaționali și structurali pentru a maximiza producția și a minimiza costurile și riscurile de defecțiuni. Analiza detaliată a sondelor a relevat diverse cauze ale randamentului scăzut, cum ar fi: umplerea incompletă a pompei din cauza pomparii excesive, Interferența gazului la admisia pompei, pierderi la supapele pompei, spațiere necorespunzătoare a pompei.

Reproiectarea Garniturii de Prăjini: Se va dimensiona o nouă garnitură de prăjini de pompare diferită de cea existentă adecvată condițiilor specifice ale sondei. Aceasta include selecția materialelor rezistente la coroziune și uzură."

Ajustarea Parametrilor de Operare: Se vor recalcula și ajusta parametrii de operare cum ar fi viteza de pompare, lungimea cursei și presiunea de admisie pentru a se asigura o funcționare optimă a pompei.

Implementarea Sistemelor de Separare a Gazului: Se vor instala separatoare de gaz la fundul sondei pentru a preveni interferența gazului și a asigura umplerea completă a pompei cu lichid.

Optimizarea Sistemelor de Control Automatizat: Utilizarea controlerelor de oprire a pompei (POC) și a sistemelor de monitorizare în timp real pentru a detecta și corecta problemele de operare în timp util.

Monitorizarea și Întreținerea Regulate: Implementarea unui program de întreținere predictivă pentru a identifica și remedia defecțiunile înainte ca acestea să cauzeze întreruperi majore.

Pentru a realiza optimizarea, pentru a realiza optimizarea, se cunoaște că sonda este echipată cu o unitate de pompare de tip Vulcan UP-12T-5000-7500M, iar pompa din echipare este de tip P 2 3/8×1 1/4. S-au realizat calculele de optimizare prin pompaj: calculul frecvențelor periculoase, calculul frecvențelor nepericuloase, determinarea produsului „Sn”, dimensionarea garniturii de prăjini de pompare, eforturile unitare maxime și minime din garnitura de prăjini de pompare, eforturile unitare maxime și minime din țevile de extracție, cursa reală a pistonului, calculul cuplului maxim la reductor, puterea nominală a motorului electric și echilibrarea unității de pompare.

În urma calculelor pentru eforturile unitare maxime și minime din garnitura de prăjini de pompare și eforturile unitare maxime și minime din țevile de extracție s-au realizat graficele de variația eforturilor în garnitura de prăjini de pompare respectiv variația eforturilor în garnitura de țevi de extracție.

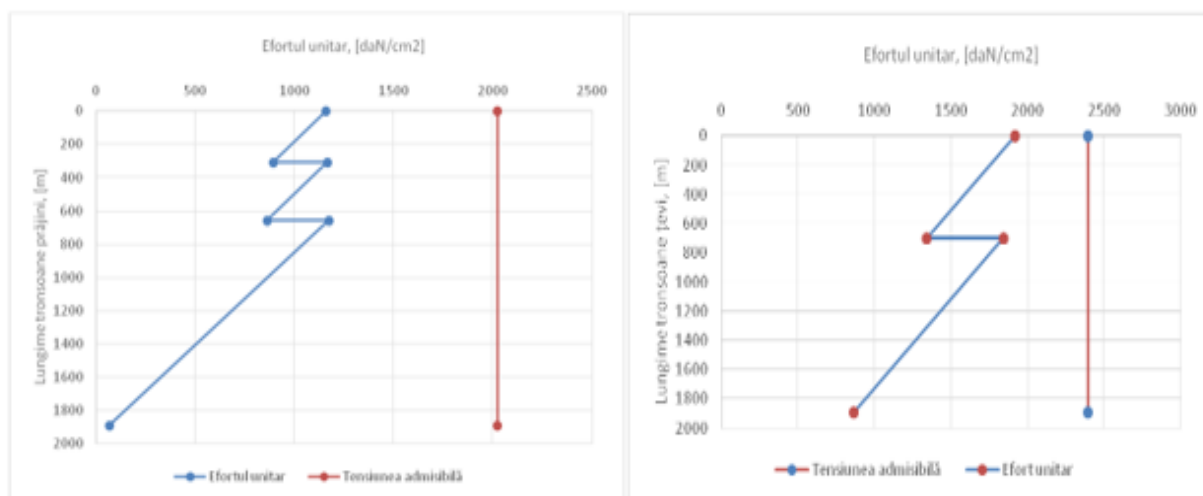


Fig. 4.1. • Eforturile în garnitura de prăjini de pompare • Eforturile în garnitura de țevi de extracție

Pentru a alege sistemul optim de extracție, se va utiliza ca criteriu de comparație energia minimă de referință consumată pentru extragerea aceluiași debit de lichid pentru fiecare sistem de extracție menționat. În urma evaluării regimului tehnologic de funcționare al sondei propuse în acest proiect, au fost obținute date referitoare la randamentele volumetrice caracteristice ale acestora.

S-a presupus că o sondă cu un randament sub 48% indică un regim de producție nesatisfăcător și necesită intervenții de reproiectare. S-a convenit că procesul de reproiectare, realizat prin pompaj continuu, va păstra echipamentul existent la sondă, inclusiv unitățile de pompare curente și, pe cât posibil, pompele din dotarea actuală, în vederea atingerii unui randament al instalației de 78%.

CAPITOLUL V

CONTRIBUȚII PRIVIND MODELAREA PROCESELOR ASOCIATE SISTEMULUI DE EXTRAȚIE A ȚITEIULUI PRIN POMPAJ DE ADÂNCIME

Acest capitol evidențiază contribuțiile originale ale autorului în dezvoltarea de modele avansate pentru procesele asociate cu sistemele de extracție prin pompare de adâncime. Se prezintă abordări inovatoare în simularea comportamentului prăjinilor și al altor componente, inclusiv impactul frecării și al oscilațiilor asupra eficienței sistemului. Capitolul oferă soluții numerice pentru ecuațiile diferențiale complexe care descriu aceste procese, propunând metode de optimizare care îmbunătățesc durabilitatea și performanța sistemului.

Metoda de previziune a comportării sistemului de extracție:

Se prezintă o metodă de prevedere a comportării sistemului de extracție țiței prin pompaj de adâncime. Sistemul este descris de un model matematic flexibil, bazat pe ecuații diferențiale rezolvate numeric, care permite simularea unor condiții de operare diverse. Aceste date sunt utile pentru proiectarea și utilizarea sistemelor de pompaj cu prăjini.

Prevederea comportării sistemului de pompaj cu prăjini impune soluții obținute prin ecuații diferențiale la care se aplică un întreg set de condiții la limită. Pentru garniturile de prăjini de pompare se utilizează ecuația coardei vibrante împreună cu condițiile la limita care descriu: apăsarea și viteza inițială a garniturii de prăjini, mișcarea prăjini lustruite, precum și condițiile de funcționare ale pompei.

Simularea garniturii de prăjini de pompare:

Simularea comportării garniturii de prăjini se face cu ajutorul ecuației coardei vibrante unidimensională, utilizând factorul Damping și condițiile la limita ale sistemului prăjini - pompa. Ecuație descrie vibrațiile longitudinale în prăjini și din acest motiv este ideală în aplicațiile prăjină-pompa. De asemenea, în acest model matematic este încorporat și fenomenul de reflexie al de șoc de-a lungul garniturii, o caracteristică importantă a sistemelor reale. Factorul Damping utilizat în ecuație modifica elocvent soluțiile obținute, chiar dacă alături de acestea sunt prezente efectele frecării (independente de vâscozitate) prăjini tubing și histereza oțelului din care sunt confecționate prăjinile. Din fericire, efectele independente de vâscozitate sunt relativ mici, așa că aproximarea factorului Damping în ecuația coardei vibrante este adecvată. În ecuația 1 factorul Damping este reprezentat de coeficientul adimensional v ce se determina în funcție de condițiile din teren; acest coeficient are un

domeniu îngust în care variază (aprox. 0 ± 0.2). Din convenții matematice, în ecuația 1 accelerația gravitațională este omisă. Efectul gravitațional asupra încărcării și alungirii garniturii de prăjini de pompare va fi tratat separat.

✚ Simularea mișcării prăjinii lustruite:

Mișcarea prăjinii lustruite este determinată de geometria unității de pompare și de caracteristicile cuplu-viteză ale motorului. Poziția prăjinii este dată de relații matematice complexe, care țin cont de unghiul manivelei și momentul motor. Această ecuație obținută din soluția generală a problemei "four - bar linkaze", poate descrie cinematica oricărei unități de pompare.

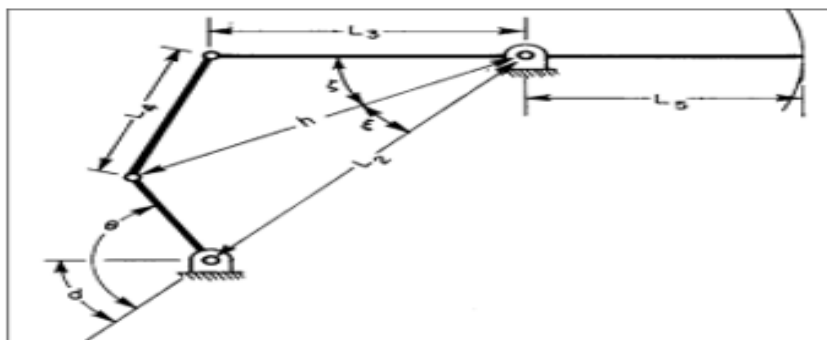


Fig. 5.1: Schema unității de pompare cu balansier "four-bar linkaze"

✚ Simularea pompei de fund:

Cea mai importantă condiție la limită în pompajul de adâncime cu prăjini este aceea care descrie funcționarea pompei de fund. Fără îndoială, modelul matematic după care funcționează pompa de fund, a ridicat cele mai mari probleme în analiza funcționării sistemului de extracție cu prăjini de pompare. În acest domeniu, multe studii și cercetări au formulat expresii explicite, care descriu comportarea garniturii de prăjini și a pompei, dar din nefericire aceste expresii s-au dovedit inadecvate în raport cu situațiile reale din sonda. Este deci improbabil ca o analiză clasică a sistemului prajini-pompa să ofere o imagine cât de cât apropiată cu cea din teren.

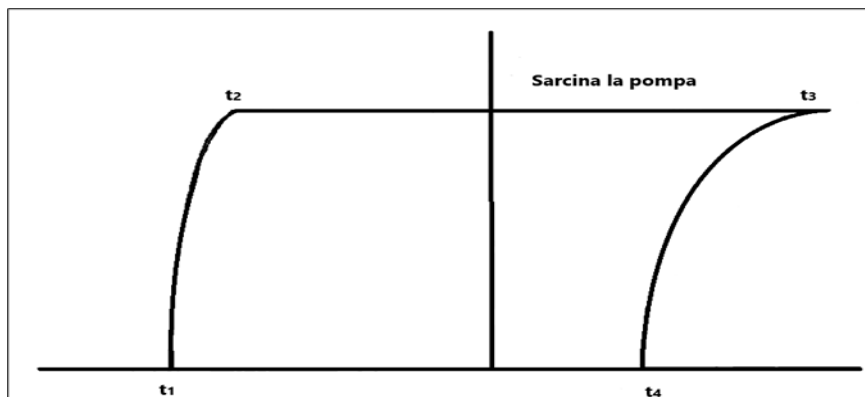


Fig. 5.2: Diagrama tipică pentru supapa de lucru la anumite momente

Ilustrează momentele critice în funcționarea pompei, precum închiderea și deschiderea. Funcțiile G_1 și G_2 determină forma diagramei când sarcina fluidului este transferată de la țiji la tubing sau invers. Aceste funcții depind de relațiile presiune-volum ale amestecului ce începe a fi pompat. Dacă cantitatea de gaz ce trece prin pompa scade, eficiența volumetrică crește și dinamograma pompei tinde spre formă rectangulară supapelor de lucru și fixe.

Ecuatii diferențiale pentru obținerea soluțiilor numerice optime:

Pentru a rezolva ecuațiile complexe ale sistemului se folosesc metode numerice, cum ar fi metoda diferențelor finite. Aceste soluții permit obținerea unor rezultate precise și rapide, esențiale pentru optimizarea funcționării sistemului de extracție.

Concluzie

Modelarea matematică a proceselor asociate sistemului de extracție a țițeiului prin pompaj de adâncime, prezentată în acest capitol, oferă un instrument puternic pentru previzionarea comportamentului operațional și optimizarea sistemelor de pompaj. Utilizarea ecuațiilor diferențiale și a metodelor numerice, cum ar fi metoda diferențelor finite, permite simularea precisă a condițiilor de operare, inclusiv a dinamicii garniturii de prăjini, mișcării prăjinii lustruite și funcționării pompei de fund. Aceste modele sunt esențiale pentru a îmbunătăți eficiența și fiabilitatea operațiunilor de extracție, oferind soluții adaptate pentru diverse scenarii și condiții de teren. Includerea fenomenelor reale, precum reflexia șocurilor și efectele amortizării, contribuie la o înțelegere mai completă și realistă a sistemelor de pompaj de adâncime. Astfel, cercetările și contribuțiile descrise în acest capitol nu doar că avansează cunoașterea teoretică, dar au și aplicabilitate practică directă în industria petrolieră.

CAPITOLUL VI

CONCLUZII ȘI PROPUNERI DE CERCETARE VIITOARE

Capitolul final oferă o sinteză a concluziilor tezei, subliniind contribuțiile esențiale la cunoașterea și tehnologiile aplicate în sistemele de pompare cu prăjini. Sunt identificate provocările rămase și direcțiile viitoare de cercetare, incluzând explorarea de noi materiale pentru componentele de pompare, dezvoltarea de algoritmi avansați de control și monitorizare, și integrarea de tehnologii emergente pentru optimizarea proceselor.

Concluzii Generale

Lucrarea analizează exploatarea zăcămintelor de hidrocarburi fluide și metodele de extracție a țițeiului și gazelor, subliniind necesitatea unor tehnici eficiente pentru a atinge un factor de recuperare final cât mai mare. În mod tradițional, factorul de recuperare se limitează la aproximativ 30%, dar tehnologiile moderne pot îmbunătăți această cifră la 50-60%. Identificarea și remedierea cauzelor scăderii debitelor sunt esențiale pentru menținerea eficienței.

- **Capitolul I:** Clasifică sistemele de pompaj de adâncime, discutând avantajele și dezavantajele fiecărui tip de pompă și unitate de pompare.
- **Capitolul II:** Abordează sistemele de pompare cu prăjini, introducând parametrii adimensionali și importanța dinamogramelor de suprafață în analiza performanței.
- **Capitolul III:** Subliniază importanța modelării și simulării numerice pentru proiectarea eficientă a sondelor, ajutând la optimizarea performanței și reducerea costurilor.
- **Capitolul IV:** Detaliază metodele de optimizare a regimului tehnologic de funcționare a sondelor, incluzând monitorizarea parametrilor operaționali și implementarea întreținerii predictive.
- **Capitolul V:** Prezintă metode avansate de previzionare a comportării sistemului de extracție, incluzând simularea garniturii de prăjini și funcționarea pompei de fund.
-

Contribuții Originale

1. **Eficiența Volumetrică și Performanța Instalațiilor de Pompare:** Eficiența volumetrică de 91.38% - 93.89% indică o performanță ridicată, cu pierderi minime de fluid, optimizând costurile și protejând mediul.
2. **Optimizarea Lungimii Cursei Pistonului și a Numărului de Curse:** O lungime de 350 cm și 6 curse/minut sunt optime, echilibrând consumul de energie și debitul de țiței.

3. **Selecția Garniturilor de Prăjini de Pompare:** Garniturile de tip C87 și D87 asigură un debit constant și stabilitate operațională, reducând sarcinile dinamice și statice.
4. **Reducerea Costurilor Operaționale:** Optimizarea a condus la scăderea costurilor, reducerea consumului de piese de schimb și energie, și diminuarea timpului de nefuncționare.
5. **Importanța Modelării Numerice:** Simulările numerice au fost esențiale pentru optimizarea funcționării și identificarea parametrilor optimi.
6. **Contribuții la Domeniul Tehnologic și Practic:** Metodele dezvoltate oferă o bază pentru îmbunătățirea performanțelor sondelor și reducerea impactului asupra mediului.

Propuneri de Cercetare Viitoare

1. **Dezvoltarea Algoritmilor de Optimizare Avansată:** Crearea de algoritmi care ajustează în timp real parametrii de funcționare a sondelor, adaptându-se la condițiile geologice și operaționale.
2. **Integrarea Tehnologiilor IoT:** Implementarea senzorilor IoT pentru monitorizare continuă, detectând rapid anomaliiile și prevenind defecțiunile majore.
3. **Realizarea de Studii Experimentale Suplimentare:** Extinderea cercetărilor pentru a testa diverse configurații de echipamente și condiții de operare.
4. **Simulări Numerice Detaliate:** Realizarea de simulări mai detaliate pentru o înțelegere mai profundă a dinamicii sondelor și dezvoltarea de soluții inovatoare.

Aceste concluzii și propuneri subliniază nevoia de inovare continuă și cercetare pentru a optimiza exploatarea sondelor de adâncime, având potențialul de a crește eficiența operațională și de a reduce costurile.

Autoarea dorește să mulțumească conducătorilor științifici, domnilor profesori: Prof. Univ. Dr. Ing. MIHAI PASCU COLOJA, Prof. Univ. Dr. Ing. Habil. MARIA STOICESCU, Șef lucr. Univ. Dr. Ing. DORU STOIANOVICI și Prof. Univ. Dr. Ing. Habil. TIMUR-VASILE CHIȘ pentru încrederea acordată, pentru sugestiile, sprijinul și îndrumarea oferite pe parcursul elaborării tezei.

ANEXA

În continuare se prezintă exemple concrete de simulare și analiză a funcționării sondei. În urma analizei, s-a dorit evidențierea următorilor parametri:

- Lungimea cursei la suprafață [cm]
- Lungimea cursei la nivelul pompei [m]
- Numărul curselor duble/minut
- Debitul pompei [m³/zi]
- Sarcina maximă în partea superioară a prăjinilor de pompare [%]
- Puterea necesară la prăjina lustruită [KW]

Rezultatele obținute cu ajutorul simulatorului vizează evidențierea subdimensionărilor sau supradimensionărilor garniturii de prăjini de pompare, cu scopul de a evita consumurile excesive de piese de schimb și de energie, precum și intervențiile suplimentare, ceea ce ar conduce la creșterea prețurilor de cost per tonă de țiței.

PARAMETRII DE POMPAJ	Densitate a titelului [kg/m ³]	Densitatea amestecului [kg/m ³]	Vascozitate a titelului [cP]	Impunitati	Prăjini de pompare	Tipul unitatii de pompare	Pompă	Calitatea oțelului și dimensiunea pompei	Adancimea de fixare a pompei [m]	Lungimea cursei pistonului [cm]	Numarul curselor duble/min	Debitul instalatiei [m ³ /zi]	Sarcina maxima prajina lustruita [%]	Putere necesara prajina lustruita [kw]	Efficienta volumetrica pompa [%]	Ancorare tubing
					Diametru [in]	Lungime [m]				Lungimea cursei la suprafață	Lungimea cursei la nivelul pompei					
Varianta 1	835	929	2	40	7/8	761.95	UP12T5000-7500-M	2 ^{3/8} x 1 ^{1/4}	C 76	2450	400	5	17.5	98.4	5.78	91.90
Varianta 2					3/4	1688.05										
Varianta 3					1	600.25										
Varianta 4					7/8	592.90										
Varianta 5					3/4	1254.40										
Varianta 6					1	644.35										
					7/8	1805.65										
					7/8	761.95										
					3/4	1688.05										
					1	600.25										
					7/8	592.90										
					3/4	1254.40										
					1	644.35										
					7/8	1805.65										
Varianta 7	835	929	2	40	7/8	761.95	UP12T5000-7500-M	2 ^{3/8} x 1 ^{1/4}	C 76	2450	400	6	22.2	102.7	7.60	93.04
Varianta 8					3/4	1688.05										
Varianta 9					1	600.25										
Varianta 10					7/8	592.90										
Varianta 11					3/4	1254.40										
Varianta 12					1	644.35										
					7/8	1805.65										
					7/8	761.95										
					3/4	1688.05										
					1	600.25										
					7/8	592.90										
					3/4	1254.40										
					1	644.35										
					7/8	1805.65										
Varianta 13	835	929	2	40	7/8	761.95	UP12T5000-7500-M	2 ^{3/8} x 1 ^{1/4}	C 76	2450	400	7	27.9	107.8	9.77	93.89
Varianta 14					3/4	1688.05										
Varianta 15					1	600.25										
Varianta 16					7/8	592.90										
Varianta 17					3/4	1254.40										
Varianta 18					1	644.35										
					7/8	1805.65										
					7/8	761.95										
					3/4	1688.05										
					1	600.25										
					7/8	592.90										
					3/4	1254.40										
					1	644.35										
					7/8	1805.65										

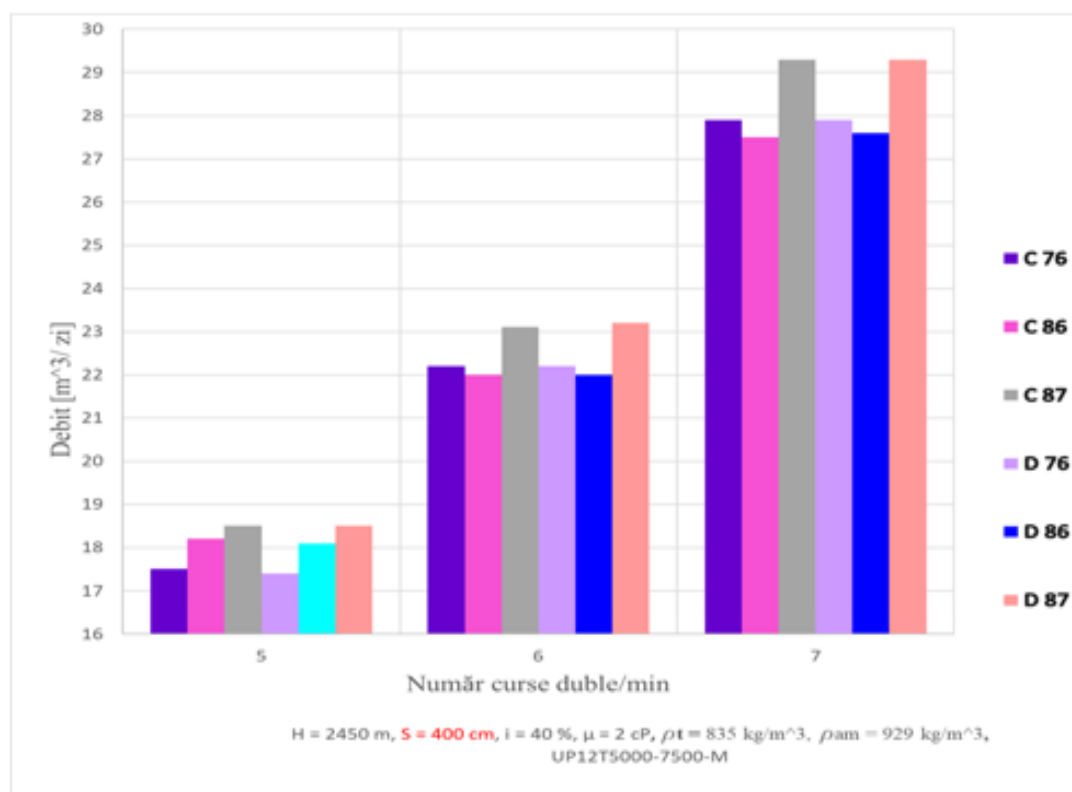


Fig. 13. Variația debitului în funcție de număr curse duble pe minut pentru tipul prăjinii de pompare

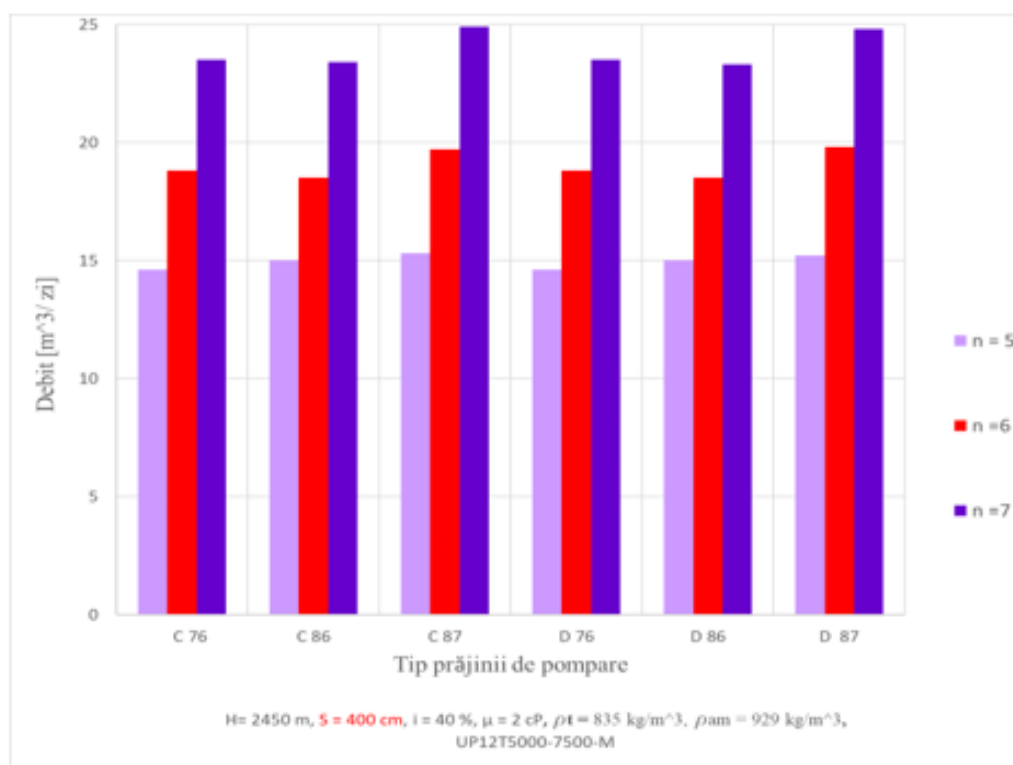


Fig. 14. Variația debitului în funcție de tipul prăjinii de pompare și număr de curse duble pe minut



Fig. 15. Variația debitului în funcție de sarcina maximă prăjina lustruită pentru tipul prăjinii de pompare

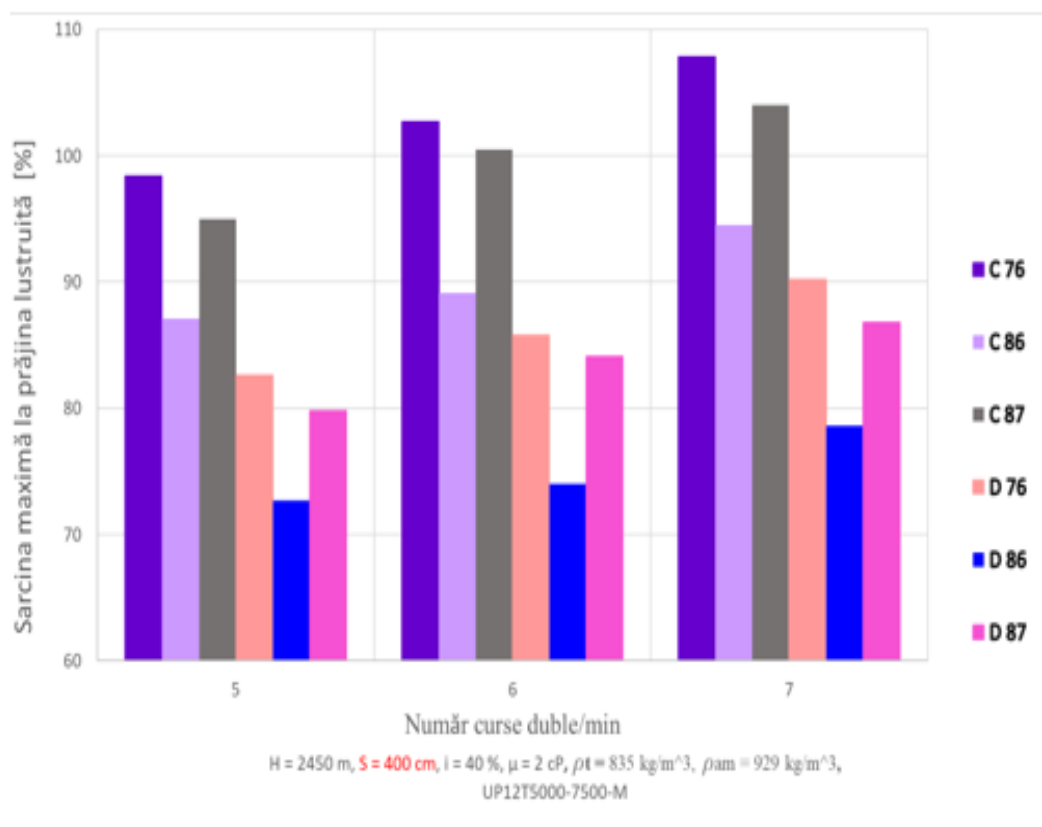


Fig. 16. Variația debitului și sarcina maximă la prăjina lustruită pentru număr curse duble pe minut

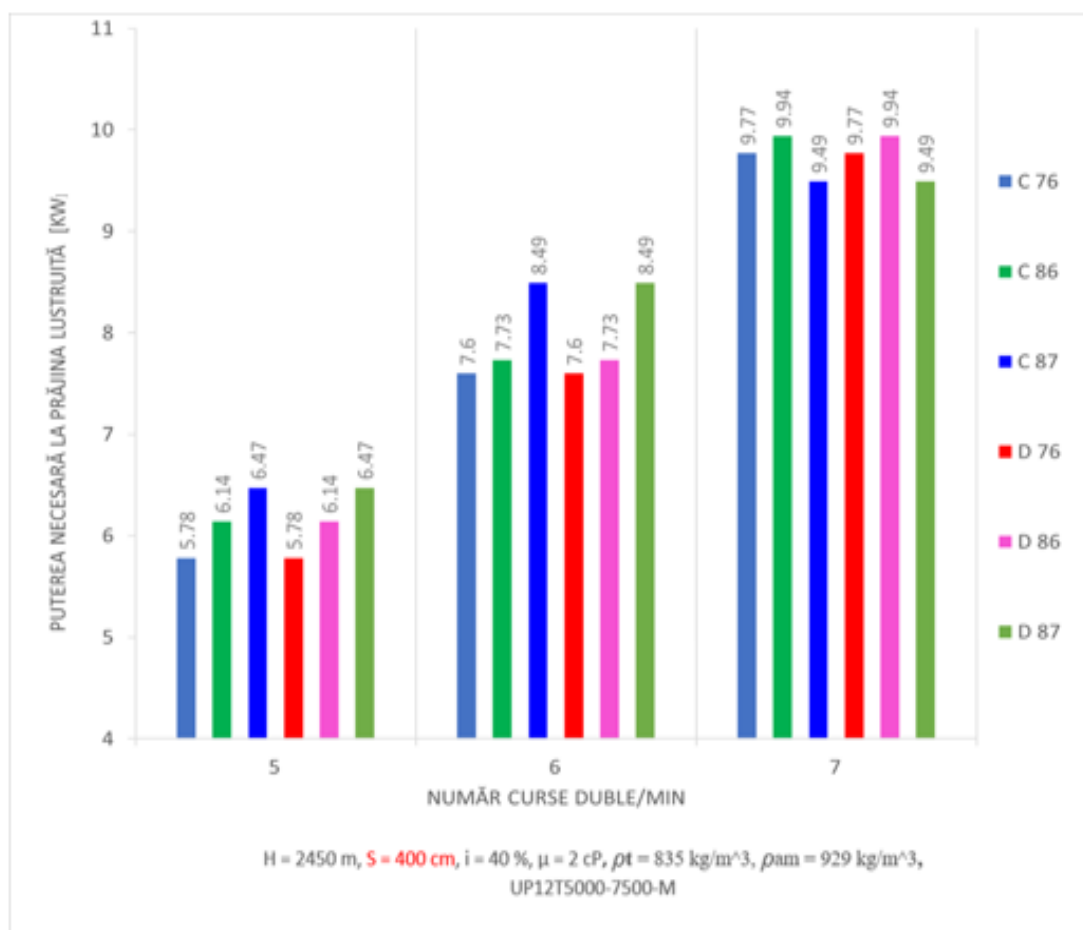


Fig. 17. Variația debitului în funcție de puterea necesară prăjina lustruită pentru tipul prăjinii de pompare

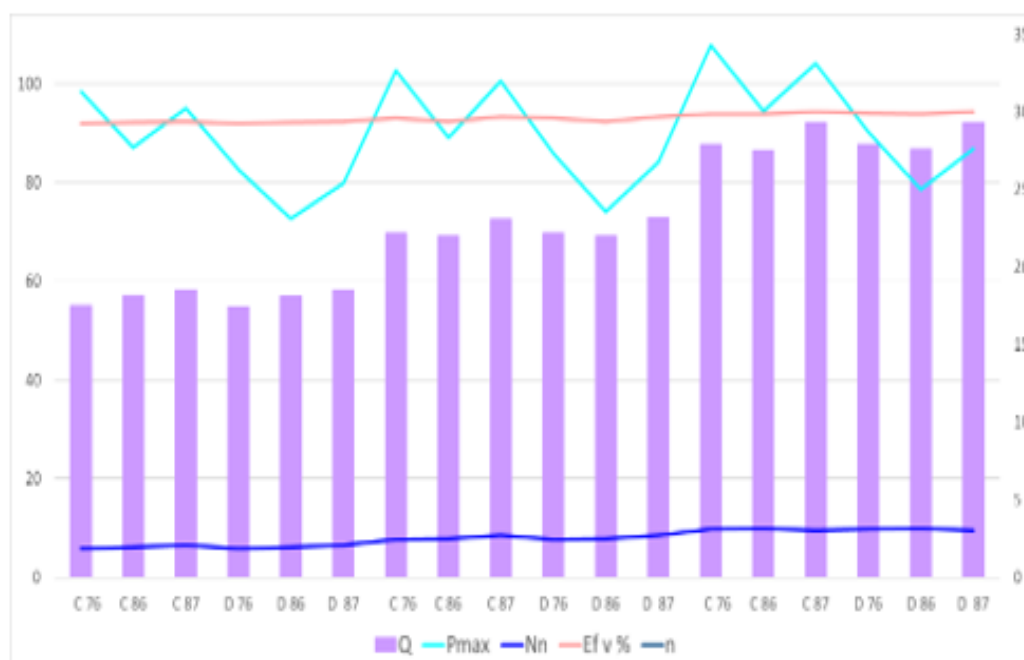


Fig. 18. Variația debitului, sarcina maximă și putere la prăjina lustruită, eficiența volumetrică și număr de curse duble pe minut pentru diferite tipuri de prăjini pompare

În cadrul prezentului studiu, s-a efectuat o analiză detaliată a performanței unui sistem de pompare utilizând ecuația coardei vibrante care utilizează factorul Damping și condițiile la limita ale sistemului prăjini-pompă. Variantele de analiză au fost evaluate și prezentate într-o formă tabelară, iar graficele corespunzătoare au fost generate pe baza acestor variante. În toate variantele examinate, au fost luate în considerare șase tipuri diferite de garnituri pentru prăjina de pompare: C76, C86, C87, D76, D86 și D87.

În primele trei variante, au fost utilizate următorii parametri constanți: densitatea țițeiului de 835 kg/m³, densitatea amestecului de 929 kg/m³, o vâscozitate a țițeiului de 2 cP, și o concentrație de impurități de 40%. S-a optat pentru o unitate de pompare de tip UP12T5000-7500-M, o pompă cu dimensiunile 2 3/8x1 1/4 și cu o adâncime de fixare la 2450 m. Lungimea cursei pistonului a fost setată la 300/ 350/ 400 cm, iar numărul de curse double a variat între 5, 6 și 7 cd/min. În urma analizei rezultatelor obținute din grafice, s-a observat că cea mai înaltă performanță a fost atinsă atunci când numărul de curse a fost setat la 7 cd/min, iar garnitură de prăjini de pompare a fost compusă din 3 tronsoane de tip D86. Această configurație a generat un debit optim de 19.1/ 23.3/ 27.6 m³/zi. De asemenea, s-a observat că sarcina maximă la prăjina lustruită a atins 73.7/ 76.2/ 78.6 %, ceea ce indică un rezultat optim pentru prevenirea defectelor și a întreținerilor costisitoare. Puterea necesară la prăjina a fost evaluată la 6.60/ 8.23/ 9.94 kW ceea ce conduce la o reducere a costurilor operaționale. Eficiența volumetrică a fost calculată la 91.38/ 92.38/ 93.89 % ceea ce sugerează o utilizare mai eficientă a energiei și o producție mai mare de țiței. Din aceste variante, cea mai eficientă este aceea în care lungimea cursei pistonului este de 350 cm.

În a patra variantă, s-a optat pentru un număr de curse de 6 cd/min, iar lungimea cursei pistonului a fost setată la 350 m. S-a efectuat o modificare a vâscozității țițeiului, variind între 1, 2 și 5 cP. Analizând rezultatele obținute, s-a observat că cea mai bună performanță a fost înregistrată atunci când vâscozitatea a fost stabilită la 5 cP. De asemenea, s-a constatat că garnitură de prăjini de pompare compusă din 3 tronsoane de tip C87 și D87 a generat cel mai bun debit, înregistrând o valoare de 20.8 m³/zi. În ceea ce privește sarcina maximă la prăjina lustruită, puterea necesară la prăjina și eficiența volumetrică, acestea au rămas constante pentru fiecare valoare a vâscozității și pentru fiecare tip de garnitură de prăjini de pompare.

Aceste constatări indică importanța optimizării parametrilor și a selecției adecvate a echipamentelor în cadrul operațiunilor de pompare pentru a maximiza eficiența și a minimiza costurile

BIBLIOGRAFIE

1. *** Oil Production With Subsurface Sucker Rod Pumps, Schoeller-Bleckmann GmbH, 1989.
2. *** RP 11AR: Care and Use of Subsurface Pumps, American Petroleum Institute, Production Departament, 1993.
3. Adamache, L., Cercetări analitice și de modelare electronică asupra pompajului de mare adacime cu prăjini, Lucrare doctorat, ICPT Campina, 1962.
4. Alexandru, I., Popescu A., Boric V: Extracția țițeiului prin pompaj de adâncime, Editura Ziuă, București, 2005
5. Allen, L. Rod Pimping Oprimization Program Reduces Equipment Failures and Operating Costs, Society of Petroleum Engineers Review, ne. 13247, Sept. 1984,
6. API RP 11L; "Recommended Practice for Design Calculations for Sucker Rod Pumping Systems," American Petroleum Institute, Washington, D.C., Fourth Edition, 1988.
7. API RP 11L2; "Catalog of Analog Computer Dynamometer Cards," American Petroleum Institute, Washington, D.C., 1969.
8. Atakinson,O. A Progom to Reduce Sucker Rod Failures-West Kansas Opcrations, 1966.
9. Beca, C., D. Prodan: Geologia zăcămintelor de hidrocarburi, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
10. Bommer, P. M., Schrauner, D.: "Benefit of Slow-Speed Pumping", SPE 103359, JPT October 2006
11. Byrd,J, Hale, L.,, The Influence of the Rod-Coupling Piston Effect on the Rod Load of a Sucker Rod Pumping System, Presented at the Spring Meeting of the Rocky Mountain District, API Division of Production, April 1970.
12. Chambliss, R. Kyle: "Developing Plunger Slippage Equation for Rod-Drawn Oil Well Pumps," Dissertation, Texas Tech U., Lubbock, Texas (2005)
13. Charles, L, Calculator Program Speeds Rod Pumps Design, Word Oil, Febr. 1984
14. Chien, S. F., Empirical Correlarions of Saturated Steam Properties, Society of Petroletm Engineers Review Reservoir Engineering, May 1992.
15. Coloja, M: Suport teoretic la cursul „Extracția Petrolului”
16. Crețu, I: Hidraulică generală și subterană, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
17. Cutler, R.P. and Mansure, A.J. (Chip): Fluid Dynamics in Sucker Rod Pumps, Southwestern Petroleum Short Course, 1999.
18. Diagnostic Pump Card Shapes, <http://www.echometer.com/support/technotes/pumpcards.html>
19. Documente prezentând date de șantier, obținute de la OMV-Petrom, Ploiești
20. Echometer Company Web Site, <http://www.echometer.com/papers/index.html>

21. Gabor Takacs, "Modern Sucker Rod Pumping" PennWell Publishing Co., Tulsa, Okla. 1993
22. Gibbs, S. G., "Predicting Behavior Sucker Rod Systems", SPE 588 (July 1963)
23. Gibbs, S.G, "Predicting the Behavior of Sucker Rod Pumping Systems, JPT, SPE, 1963, pp 769-778.
24. Gibbs, S.G. and Neely, A.B.: Computer Diagnosis of Downhole Conditions in Sucker Rod Pumping Wells, Journal Petr. Tech., Jan. 1996.
25. Gibbs, S.G. and Nolen, K.B.: Well Site Diagnosis of Pumping Problems using Mini-Computers, Paper presented at 47th Annual fall Meeting of SPE of AIME, Oct. 8-11, 1972.
26. Gibbs, S.G.: A Method of Determining Sucker Rod Pump Performance, U.S. Patent No.3,343,409, Filed Oct. 21, 1966; Issued Sept. 26, 1967
27. Gibbs, S.G.: Predicting the Behavior of Sucker Rod Pumping Systems, Journal. Petr. Tech., July 1963
28. Gilbert, W. E.: "An Oil-Well Pump Dynagraph", Drill. And Prod. Pmc., API (1936).
29. Gipson, F.W. and Swaim, H.S., "Beam Pump Design Chain," Second Edition, 32nd Annual SouthWestern Petroleum Short Course, Texas Tech University, Lubbock, TX, April 1985.
30. Gray, H. E.: "Kinematics of Oil-Well Pumping Units", Paper presented at the API Midcontinent Dist. Meeting, Amarillo, Tex. (March 27-29, 1963).
31. Hein, Jr., N.W. and Stevens, R., "A Current Comparison of Sucker Rod String Design Programs, 51st Annual SouthWestern Petroleum Short Course, Texas Tech University, Lubbock, April, 2004.
32. Heinze, L.R., Rahman, M.M., and Ge, Z., "Sucker-Rod Pumping Failures in the Permian Basin," SPE paper number 56661, SPE ATCE, Houston, TX., 3-6 Oct., 1999,
33. Howell, J.K and Hogwood, E.E., Electrical Oil Production – An Engineering Text, The Petroleum Publishing Company, 1962.
34. Ioachim, Gr., Popă, C: Exploatarea zăcămintelor de hidrocarburi, Editura Tehnică, București, 1977
35. Jennings, J. W., "QRod a Practical Beam Pumping Design Program", SWPSC, Lubbock, TX, 1994
36. John Patterson, Kyle Chambliss, Lynn Rowlan, Jim Curfew: "Progress Report #4 on "Fluid Slippage in Down-Hole Rod- Drawn Oil Well Pumps" ", SWPSC, Lubbock, Texas (2007)

37. Khodarandeh, A., MIŞCA, S, A Siyle Meskexl for Predicting the Performace of a Sucker Rod Pumping Sywem, Society of Petroleum Engineers Review, nr. 23429, Oct. 1991.
38. LEA, J., Modeling Forces on a Beam-Pumy Syslem Dwring Paping of Highly Viscows Crude, Society of Petreleuen Engineers Review, nr. 20672, Nov. 1991.
39. Lea, Jim: Down Hole Beam Pump Operation: Slippage and Buckling Forces Transmitted to the Rod String, CIM, Paper 2004-135, June 8-10, 2004.
40. LEA, JPATTILLO, P., Wwerprekation of Caleuiased Forces on Sucher Rods, Society af Petrolcum Engineers Review, nr, 25416, July 1993.
41. Lekia, D. EV ANS. U. A Coupted Rod andt Fhid Dwwamic Model for Predicting the Behavior of Sucker-Rod Pumping Syssems, Society of Petroleum Engineers Review, nr. 21664, Apr. 1991.
42. Long, S.W., Smith, E., McHaffey, K., and Garza, A.: Total Downstroke Friction from Downhole Dynamometer Analysis, Southwestern Petroleum Short Course, 2000.
43. Lufkin Industries Web Site, <http://www.lufkinautomation.com/quickdyno1.asp>
44. Lukasiewicz, S, Copouer Model Evalates Ofi Pumping Units inInelined Wells, Jorumal of Petrulcum Technology, Dee. 1990.
45. Lukasiewicz, S. Dimamic Behavior of the Sucher Rod Strâng un mhe Inclined Well. Production Operations Symposium, Oklahoma City, April, 1991.
46. MCCASLIN, K., A Stady of the Methods for Preventing Rod-Wear Tuhing Leaks în Sucher Rod Pumping Wells, Society of Petroleum Engineers Review, Nov. 1988.
47. MCCOY, J, New Sysewe Amclyves Pumping Well Perforance, World Oil Nov, 1990.
48. McCoy, J. N., R. E. Ott, A. L. Podio, Forrest Collier and Dieter Becker, "Beam Pump Balancing Based on Motor Power Utilization," SPE 29533 presented at the SPE Production Operations Symposium, Oklahoma City, OK. April 2-4, 1995.
49. McCoy, J. N., Rod Mounted Load Cell, U. S. Patent 4,932,253
50. McCoy, J.N., Becker, Dieter, Podio, A.L., and Drake, B., "Improved Analysis of Acoustic Liquid Level Depth Measurements Using Dual Channel Analog/Digital Strip Chart Recorder" presented at the Southwestern Petroleum Short Course, Lubbock, Texas, 1997.
51. McCoy, J.N., Podio, A.L. and Huddleston, K.L.: "Analyzing Well Performance XV," presented at the 1987 Artificial Lift Workshop, Houston, TX, Apr. 22-24.
52. McCoy, J.N., Podio, A.L., Becker, Dieter: "Timer Control of Beam Pump Run Time Reduces Operating Expense", Proceedings of the Southwestern Petroleum Short Course, Texas Tech University

53. McCoy, J.N., Podio, A.L.: "Improved Down hole Gas Separators", Proceedings of the Southwestern Petroleum Short Course, Texas Tech University, April 1998
54. Mills, K.N., "Factors Influencing Well Loads Combined in a New Formula," Petroleum Engineering, April 1939.
55. Milne, E.: Numerical Solution of Differential Equations, John Wiley & Sons, Inc., N. Y. (1953).
56. Miska, S, Ardeshir, K., A New Approach for Modeling Fluid Ierfia Effects on Sucker-Rod Pump Performance and Design, Society of Petroleum Engineers Review, nr. 24329, May, 1992
57. O. Lynn Rowlan, James N. McCoy, Dieter Becker, Ken Skinner, Carrieanne Taylor: "Sucker Rod Pumping System Design Tools for QRod", SWPSC, Lubbock, Texas (2013)
58. Pascal, H., Frecarea vâscoasă a tijelor de pompare, Revista de Petrol și Gaze, 5,1956
59. Petre, N, Chițu-Militaru P: Extracția țițeiului prin pompaj cu prăjini, Editura Tehnică, București, 1986
60. Petre, N, Chițu-Militaru, P., Cercetări privind aplicarea sistemelor automate de calcul pentru optimizarea pompajului de adâncime cu prăjini, ICPT Câmpina, 1992.
61. Petre, N, Chițu-Militaru, P., Optimizarea regimului de funcționare a sondelor în pompaj de adâncime cu prăjini în condiții de coroziune, abraziune, cu coloane deviate și alte dificultăți de exploatare, ICPT Câmpina, 1988-1989.
62. Petre, N., Ghiță, G., Optimizarea regimului de funcționare al sondelor în pompaj de adâncime cu prăjini, în condiții de coroziune, abraziune, cu coloane deviate și alte dificultăți în exploatare, ICPT Câmpina, 1988.
63. Petren, Chițu-Militaru, P., Extracția titeiuii prin pompaj cuprăjini, Editura Tehnică, 1986.
64. Podio, A.L., McCoy, J.N., etc.: "Total Well Management II", SPE 67273, SPE Production and Operations Symposium Oklahoma City, Oklahoma, 24–27 March 2001
65. Popa, L, Cercetări asupra comportării în exploatare a instalațiilor de suprafață la sondele în pompaj de adâncime, Teză doctorat, Ploiești, 1999.
66. Popescu, C., Coloja, M: Extracția țițeiului și gazelor asociate, Editura Tehnică, București, 1993, volumele I și II
67. QRod Design Program Download, <http://www.echometer.com/software/qrod/index.html>
68. SCHAFFER, J., Investigation of Analytical and Numerical Sucker Rod Pumping Mathematical Models, Society of Petroleum Engineers Review nr. 16919, Sept. 1987.
69. Șerban, C., Considerente constructive în fabricația noilor tipuri de pompe de extracție cu cilindru lung și piston metalizat, Mine Petrol Gaze - nov.1986.
70. Șerban, C., Utilizarea mufelor cu ghidare cu bile la exploatarea sondelor de petrol prin sistemul pompajului de adâncime cu prăjini, Revista Română de Petrol, Dec. 1994.
71. Stewaed,B.,Sucker Rod Failures, Oil Gas Joumal,1973.

72. Stoianovici D, Stoicescu M.: Dinamica fluidelor prin medii poroase, Editura UPG, Ploiești, 2019
73. Stoicescu M., Stoianovici D.: Teste hidrodinamice în sondă, Editura UPG, Ploiești, 2011
74. Tim, Presber, Predicting Rod Wear în Convențional and Screw Pump Installation, Paper no. CIM/ Society of Petroleum Engineers Review, 90-59, June, 1990
75. Trip P, H., A Review; Analyzis beam Pumped Well, Journal of Petroleum Technology, May, 1989.
76. Trip P, H., Kligore, J, A Comparision Between Predicted and Measured Walking Beam Pump Parameters, Society of Petroleum Engineers Review, nr. 20671, Sep. 1990.
77. WA N G, D., A New Long Stroke Pumping Unit with High Speed, Society of Petroleum Engineers Review, nr. 29532, Apr. 1995.

Articole publicate în extenso în reviste indexate BDI

1. **Sfiriac, L.**, Stoianovici, D., Stoicescu, m., Chis, t.,(2024), Characterization of flow behaviour in a crude oil production well, Journal of *Energy Research and Reviews*, Volume 16, Pssue 6, page 34-46, 2024; Article no.jenrr.118666 ISSN: 2581-8368,

Articole prezentate la conferințe internaționale și publicate în Book of Abstracts

1. Bărbulescu, A. **Sfiriac, L.A.**, Stoicescu , M, Optimisation of oil production function to porous rocks, *CHIMIA 2024, 30th of May – 1st of June 2024, Constanta, Romania*, OVIDIUS UNIVERSITY PRESS, CONSTANȚA 2024 , ISSN 2360-3941,
2. Helstern, M. **Sfiriac, L.A.**, Stoicescu , M, Rezervoir optimisation of oil production by IPR curves *CHIMIA 2024, 30th of May – 1st of June 2024, Constanta, Romania*, OVIDIUS UNIVERSITY PRESS, CONSTANȚA 2024 , ISSN 2360-3941.